

## **ОБНАРУЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ С ПОМОЩЬЮ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СНИМКОВ**

*Адевале Азиз Одуола*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (952)942-18-68, e-mail: adewale\_oduola@yahoo.com

*Александр Юрьевич Чермошенцев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: fdz2004@bk.ru

Загрязнение нефтью наносит существенный вред экосистемам. В настоящее время существует потребность в улучшении существующих методов обнаружения, картографирования и количественной оценки существующих разливов нефти на ранней стадии. В работе рассматривается метод обнаружения разливов нефти, основанный на спектральных характеристиках оптического изображения и данных радара с синтезированной апертурой (РСА).

**Ключевые слова:** нефтяной разлив, радиолокационные снимки, мультиспектральные снимки

## **DETECTION OF OIL POLLUTION IMPACTS ON VEGETATION USING SAR AND MULTISPECTRAL IMAGES**

*Adewale Aziz Oduola*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (952)942-18-68, e-mail: adewale\_oduola@yahoo.com

*Alexander Yu. Chermoshentsev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383) 361-08-66, e-mail: fdz2004@bk.ru

Oil pollution damages terrestrial ecosystems. Now there is a need to improve existing methods for detecting, mapping and quantifying existing oil spills at an early stage. The paper discusses the method of oil spill detection based on the spectral characteristics of an optical image and synthetic aperture radar (SAR) data.

**Keywords:** oil pollution, SAR data, multispectral images

### ***Введение***

Обнаружение разливов нефти необходимо для определения общей площади, подверженной загрязнению, а также мониторинга воздействия загрязнения нефтью на состояние растительности. Сложности, возникающие при вы-

полнении картографирования последствий разливов, часто связаны с завышенной оценкой размеров загрязненных нефтью территорий из-за объектов с аналогичными спектральными характеристиками, таких как нефтяные залежи на обнаженной земле и в водоемах, гари и другие типы растительности [1–3]. Также случается, что иногда нефтяные пятна на суше могут давать незначительные визуально согласованные сигнатуры или не отображаться на оптических снимках даже высокого разрешения из-за просачивания нефти в почву, эрозии верхнего слоя, выветривания и деградации [4–6]. Следовательно, для косвенного обнаружения нефтяного загрязнения необходимо полагаться на структурные, биофизические, физиологические и биохимические изменения растительности.

Цель данной работы – рассмотреть методы обнаружения воздействия разливов нефти на растительность, реализуемые с помощью данных активного и пассивного дистанционного зондирования.

### *Методы и материалы*

Район исследования представляет собой небольшую часть района дельты реки Нигер в Нигерии площадью 1320 км<sup>2</sup>. Топография района дельты Нигера, где находится исследуемый район, характеризуется равнинным рельефом [7] с несколькими притоками реки Бенуэ, реки Нигер, реки Бонни.

Богатая нефтью дельта Нигера в Нигерии характеризуется многочисленными инцидентами, связанными с разливами нефти с начала 1970-х годов. Причины разливов нефти в районе дельты Нигера варьируются от саботажа на нефтяных объектах до разрушения инфраструктуры трубопроводов, сбоя в работе и других причин. За прошедшие годы это привело к некоторым катастрофическим разливам. Согласно официальным отчетам Национального агентства по обнаружению и ликвидации разливов нефти (NOSDRA), накопленная статистика разливов в регионе в среднем составляет около тысячи разливов в год. Район, выбранный для этого исследования, имеет большую концентрацию объектов нефте- и газопроводов. Эти разливы, в основном, произошли на сельскохозяйственных угодьях, болотах, мангровых зарослях и участках, занятых лесной растительностью.

Участок, подверженный влиянию разливов был выбран с помощью базы данных о разливах нефти Shell Petroleum Development Corporation (SDPC), размещенной на сервисе [oilspillmonitor.ng](http://oilspillmonitor.ng) [8]. На основании этих данных были выявлены инциденты с крупными разливами на площади не менее 1000 м<sup>2</sup>, чтобы гарантировать, что охватываемая площадь превышает один пиксель в 100 м<sup>2</sup>.

На рис. 1 приведена схема расположения разливов, для каждого из которых имеется подробное описание. Был выбран разлив, произошедший 25.01.2020. В результате диверсии или хищения было разлито 2994 баррелей сырой нефти из скважина Орубири 7s, расположенной в устье реки Орубири.

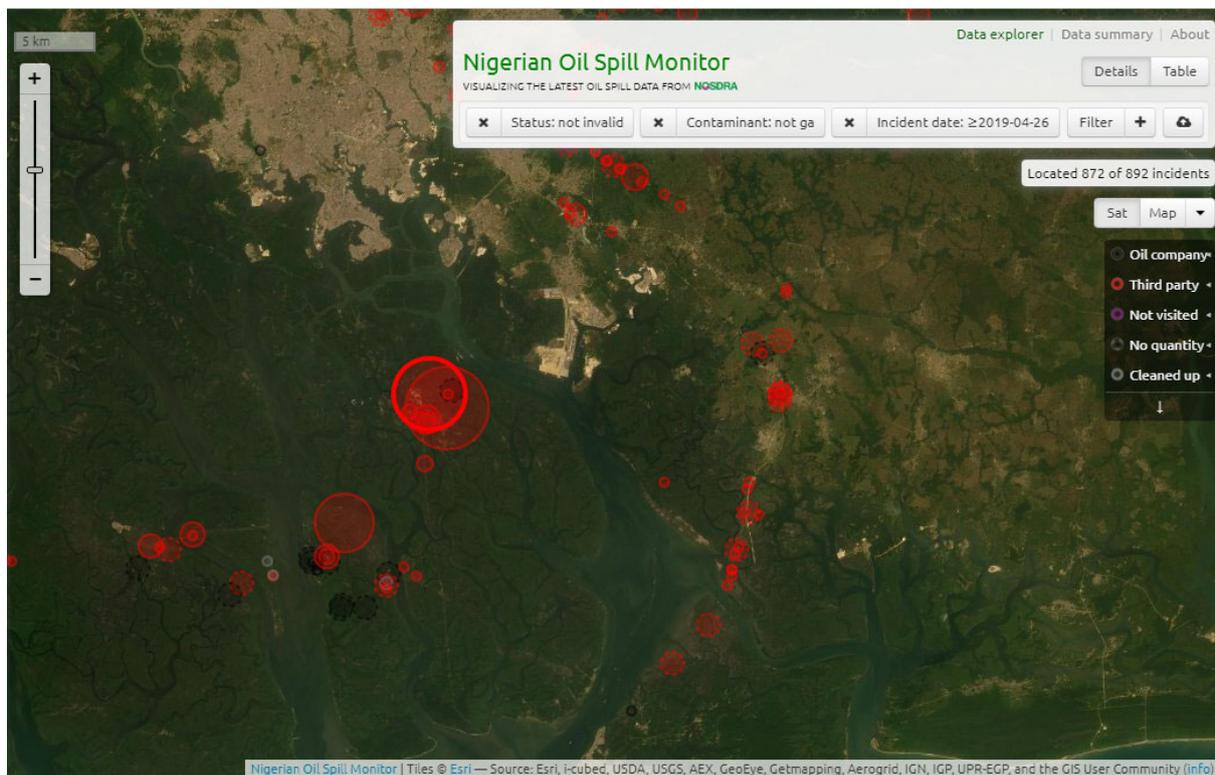


Рис. 1. Карта разливов нефти по данным SPDC oilspillmonitor

Наборы данных, используемые в этом исследовании, включают оптические и радиолокационные снимки со спутников Sentinel, полученные с помощью портала Copernicus (рис. 2).

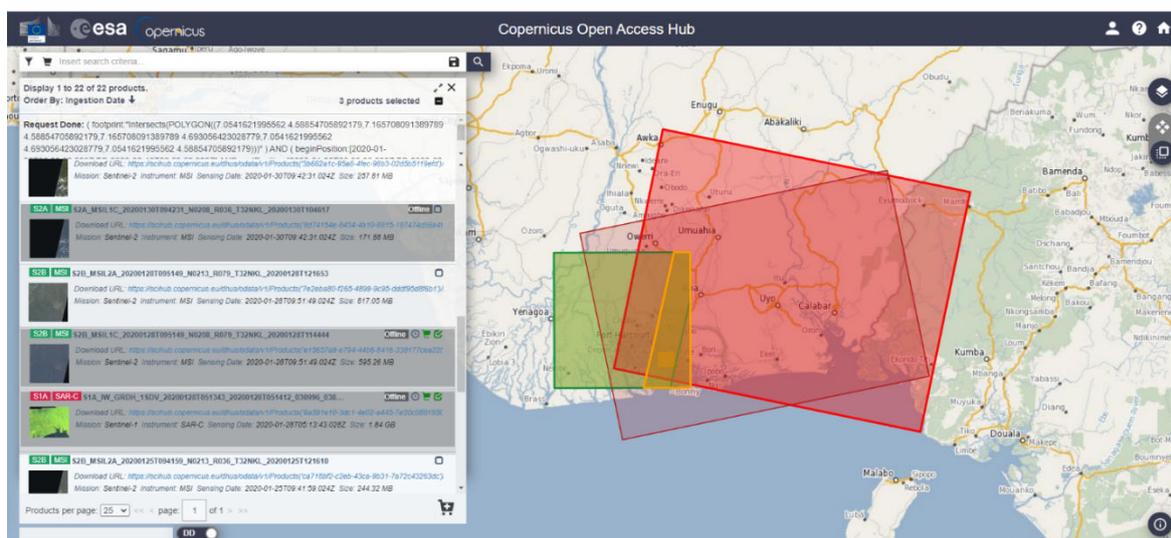


Рис. 2. Поиск и загрузка данных со спутников Sentinel

Характеристики используемых данных дистанционного зондирования приведены в таблице. Для оценки влияния разливов нефти на растительность

выбраны снимки, полученные непосредственно после разлива и по прошествии одного года.

#### Характеристики используемых данных дистанционного зондирования

Спутник	Сенсор	Ширина полосы съемки, км	Пространственное разрешение, м	Дата съемки
Sentinel 1	РСА С-диапазона	250	5×20	28.01.2020 22.01.2021
Sentinel 2A	Мультиспектральная камера	290	20	28.01.2020 22.01.2021

Снимок со спутника Sentinel 2A был предварительно подвержен процедуре атмосферной коррекции с использованием модуля Sen2Cor в программном продукте Sentinel Application Platform (SNAP). Затем пиксели изображения были повторно дискретизированы до пространственного разрешения 10 м. Далее выполнен расчет трех индексов здоровья растительности, а именно: нормализованный разностный индекс воды (NDWI), нормализованный разностный индекс растительности (NDVI) и индекс площади листа (LAI). Их использование связано с тем, что они особенно эффективны при выявлении подверженной стрессу растительности [9, 10].

Индекс NDVI широко используется для дистанционного зондирования растительности, он использует отражательную способность красного канала, который является областью сильного поглощения хлорофилла, и ближнего инфракрасного диапазона, который обладает высоким коэффициентом отражения растительности:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}. \quad (1)$$

Индекс NDWI использует каналы среднего и ближнего инфракрасного диапазона:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}. \quad (2)$$

Из-за слабого поглощения жидкости в средней инфракрасной области, индекс чувствителен к изменениям содержания воды в растительности, и обезвоженная растительность определяется этим индексом лучше, чем NDVI.

Индекс площади листа (LAI) определяется как отношение площади зеленого листа, спроецированной на горизонтальную поверхность земли. Для вычис-

ления LAI используются различные методы, начиная от полевых измерений и заканчивая обработкой спутниковых изображений. LAI являются важными переменными для определения общего фотосинтеза, поскольку они отражают структурные свойства растительности. В этом исследовании LAI был создан из оптических изображений Sentinel 2A с использованием биофизического процессора в программном обеспечении SNAP.

### *Результаты*

Результаты обработки многозонального оптического снимка Sentinel 2A путем вычисления индексов NDVI и NDWI показаны на рис. 3.

Обработка по методу LAI позволила получить три варианта изображения поверхности, в виде непосредственно индекса площади листа (LAI), доли фотосинтетически активной радиации, поглощаемой зеленой растительностью (FAPAR), и доли растительного покрова (FCover), соответствующей площади земли, покрытой зеленой растительностью. Результаты показаны на рис. 4.

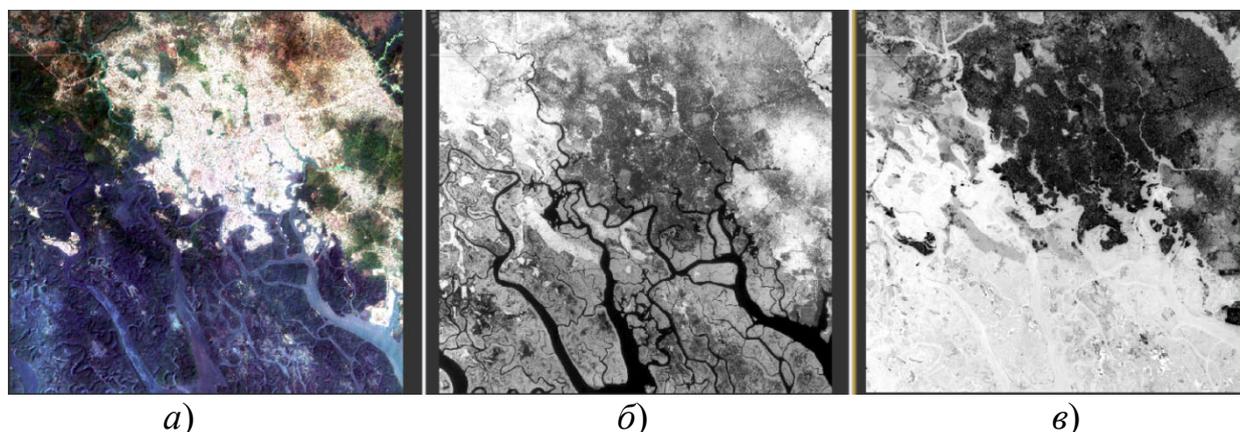


Рис. 3. Результат обработки снимка Sentinel-2A:  
a) RGB; б); NDVI; в) NDWI

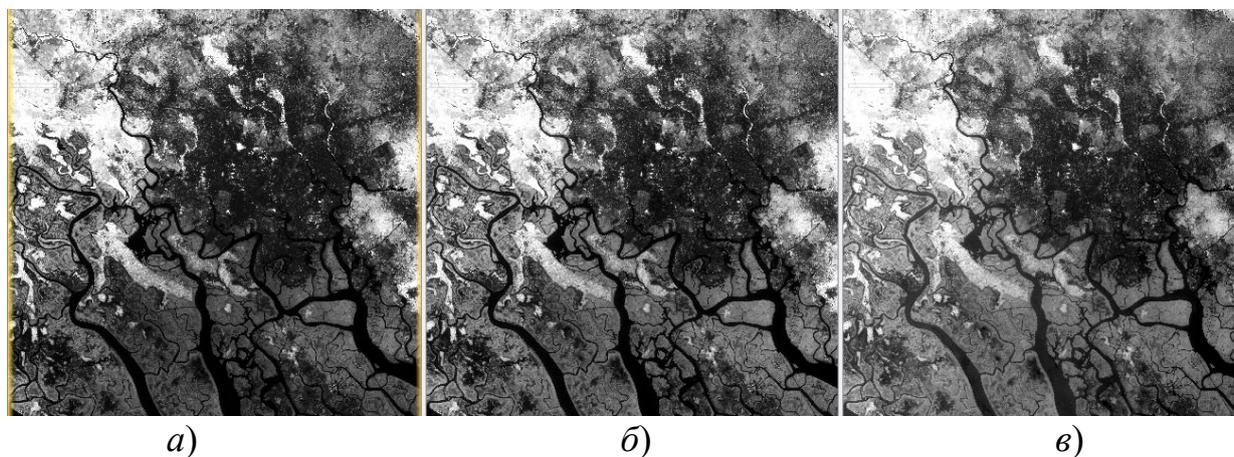


Рис. 4. Результат обработки снимка Sentinel-2A  
a) LAI; б) FAPAR; в) FCOVER

Данные радиолокационной съемки со спутника Sentinel-1 эффективно фиксируют изменение структурного состава растительности за счет использования многочастотных сигналов обратного рассеяния. На рис 5. показаны разновременные снимки на исследуемую территорию.

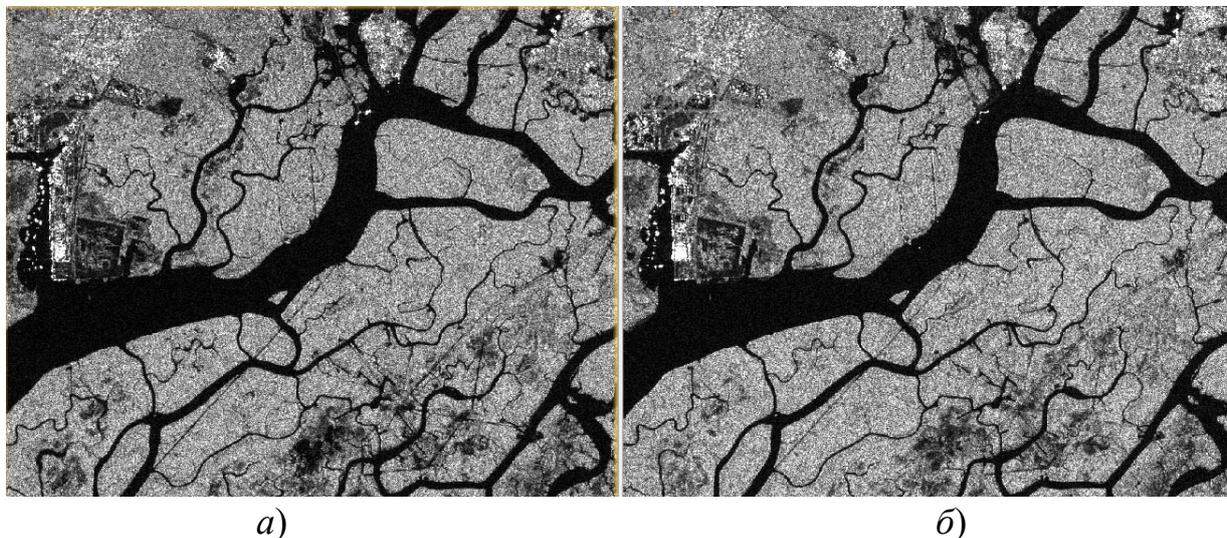


Рис. 5. Радиолокационные снимки со спутника Sentinel-1:  
а) 28.01.2020; б) 22.01.2021

Результаты подвергнуты классификации по методу Random Forest. Данный метод предполагает отнесение элементов изображения к тому или иному классу из большого набора случайно сгенерированных отдельных деревьев решений и обеспечивает более высокую точность классификации. Результат классификации Rabdом Forest показан на рис. 6.

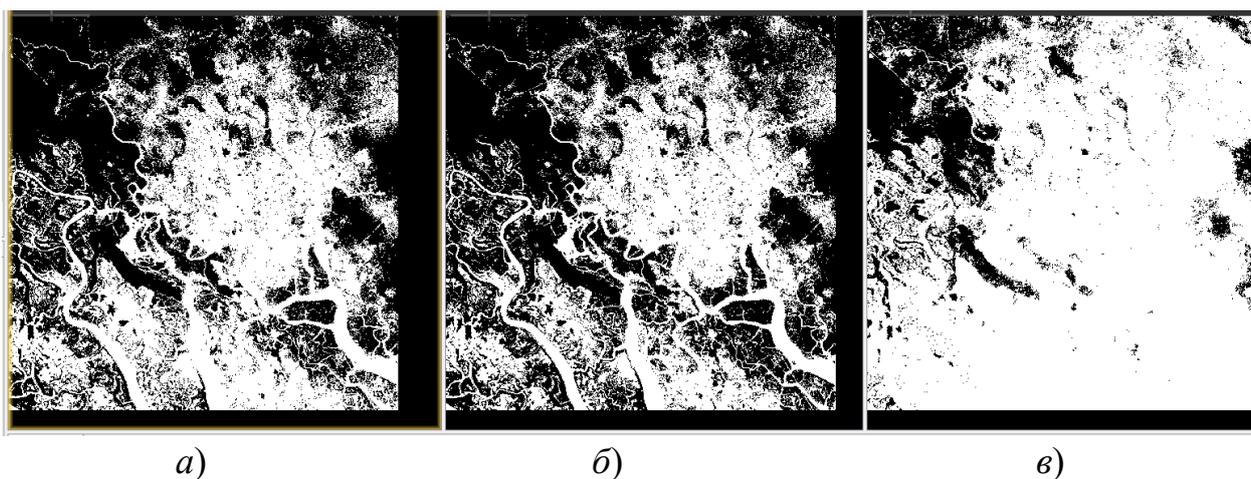


Рис. 6. Результат классификации Rabdом Forest:  
а) LAI; б) FAPAR; в) FCOVER

## *Обсуждение*

Использование мультиспектральных оптических данных для обнаружения и картирования нефтеносного земного покрова было реализовано в нескольких исследованиях [1, 5, 12]. В этом исследовании изучались возможности использования многочастотных изображений и алгоритма машинного обучения Random Forest для анализа изображений растительного покрова.

Результаты свидетельствуют о том, что многочастотные сигналы обратного рассеяния, получаемые радаром с синтезированной апертурой эффективно фиксируют изменение структурного состава растительности. В сочетании с производными индексами здоровья растительности (которые также эффективно отображают биохимические свойства растительности) на основе мультиспектральных снимков это позволило улучшить точность разделения растительности, подверженной загрязнению нефтью. Сравнение данных о загрязненной растительности с данными о почвенном покрове EC2I [13] показало, что 43, 47 и 48 % всех пастбищ, пахотных земель и растительности соответственно, находятся под влиянием нефтяного загрязнения в пределах исследуемой территории.

## *Заключение*

Данные дистанционного зондирования, получаемые радаром с синтезированной апертурой обладают большим потенциалом для картографирования территорий, загрязненных нефтью. Мониторинг разливов на объектах нефтедобычи и нефтепереработки позволяет оценить последствия нарушения растительного покрова. Результаты, полученные в этом исследовании, показали, что подход к классификации изображений, основанный на интеграции оптических и радиолокационных данных, а также методы машинного обучения обеспечивают лучшие результаты, чем при использовании других традиционных методов, ограничивающих количество входных переменных. Это свидетельствует о том, что воздействие разлива нефти на экосистему и особенно на растительность может распространиться за пределы местоположения разлива в прилегающие районы. В будущих исследованиях в этом отношении можно будет изучить другие индикаторы продуктивности растительности из-за воздействия углеводородного загрязнения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hese S., Schmullius C. Object Oriented Oil Spill Contamination Mapping in West Siberia with Quickbird Data. Object-Based Image Analysis Springer. – 2008. – С. 367–382.
2. Khanna S., Santos M.J. Detection of salt marsh vegetation stress and recovery after the deep-water Horizon oil spill in Barataria Bay, Gulf of Mexico using AVIRIS data PLoS One, 8 (11) (2013), Article e78989.

3. Kokaly R.F., Couvillion B.R. Spectroscopic remote sensing of the distribution and persistence of oil from the Deepwater Horizon spill in Barataria Bay marshes *Remote Sens. Environ.*, 129 (2013), pp. 210-230.
4. Brown L.D., Ulrich A.C. Bioremediation of Oil Spills on Land', *Handbook of Oil Spill Science and Technology* (2014), pp. 395-406.
5. Khanna S., Santos M.J. Comparing the potential of multispectral and hyperspectral data for monitoring oil spill impact *Sensors*, 18 (2) (2018), p. 558.
6. Shapiro K., Khanna S., Ustin S.L. Vegetation impact and recovery from oil-induced stress on three ecologically distinct wetland sites in the Gulf of Mexico' *J. Mar. Sci. Eng.*, 4 (2) (2016), p. 33.
7. Nriagu J. *Oil Industry and the Health of Communities in the Niger Delta of Nigeria* (2011).
8. SPDC database [Электронный ресурс]. URL: <https://oilspillmonitor.ng/> (дата обращения: 22.04.2021).
9. Adamu B., Tansey K., Ogotu B. Using vegetation spectral indices to detect oil pollution in the Niger Delta // *Remote Sensing Letters*. – 2015. - № 6 (2). – С.145–154.
10. Arellano P., Tansey K. Detecting the effects of hydrocarbon pollution in the Amazon forest using hyperspectral satellite images // *Environmental Pollution*. – 2015. №205. – С. 225–239.<https://oilspillmonitor.ng/>
11. Musa Z.N., Popescu I., Assessing the sustainability of local resilience practices against sea level rise impacts on the lower Niger delta *Ocean Coast Manag.*, 130 (2016), pp. 221-228.
12. Ozigis M.S., Kaduk J.D. Detection of oil pollution impacts on vegetation using multifrequency SAR, multispectral images with fuzzy forest and random forest methods // *Environmental Pollution*. – 2020. – С. 1–17.
13. European Space Agency Climate Change Initiative (ЕССІ) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.esa-landcover-cci.org/?q=node/187> (дата обращения: 22.04.2021).

© А. А. Одуола, А. Ю. Чермошенцев, 2021